



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **60073414 A**(43) Date of publication of application: **25.04.85**

(51) Int. Cl.

**G01C 19/56  
G01P 9/04**(21) Application number: **58183598**(22) Date of filing: **30.09.83**(71) Applicant: **YOKOGAWA HOKUSHIN  
ELECTRIC CORP**(72) Inventor: **UEDA TOSHITSUGU****(54) OSCILLATION TYPE ANGULAR SPEED METER**

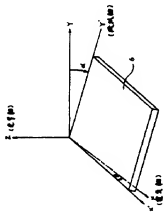
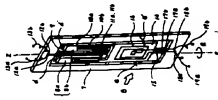
surface by performing sputtering and then etching.

**(57) Abstract:**

COPYRIGHT: (C)1985,JPO&amp;Japio

**PURPOSE:** To obtain an oscillator which has extremely low sensitivity to temperature whereas an inertia transducing part 8 is excited easily by cuff-shaped electrodes with low electric power by aligning a measurement axis to the mechanical axis of a substrate and setting the cutting angle of the substrate almost to  $\alpha = \pm 5^\circ$ .

**CONSTITUTION:** The substrate 6 uses the plate obtained by rotating a plate which is perpendicular to a Z axis by an angle  $\alpha$  ( $-5W+5^\circ$ ) around an X axis and by an angle  $\beta$  ( $-10W+10^\circ$ ) around an Y axis, and an electrode, coil etc., are formed with high precision. A frame 7 is supported rotatably around the axis Z of rotation given an angular speed Q to be measured. This axis Z is selected coinciding with the direction of the mechanical axis Y of crystal. A couple of tuning fork type oscillators 8a and 8b forming the inertia transducing part 8 in the frame is supported on the 1st ligament formed in the frame while containing the axis Z, and cuff-shaped counter electrodes 10a and 10b for exciting tuning fork type oscillators are formed on the



⑫ 公開特許公報(A)

昭60-73414

⑬ Int. Cl.

識別記号

序内整理番号

⑭ 公開 昭和60年(1985)4月25日

G 01 C 19/56  
G 01 P 9/04

6723-2F  
7027-2F

審査請求 未請求 発明の数 1 (全7頁)

⑮ 発明の名称 振動式角速度計

⑯ 特 願 昭58-183598

⑰ 出 願 昭58(1983)9月30日

⑱ 発 明 者 植 田 敏 嗣 武蔵野市中町2丁目9番32号 横河北辰電機株式会社内  
⑲ 出 願 人 横河北辰電機株式会社 武蔵野市中町2丁目9番32号  
⑳ 代 理 人 弁理士 小沢 信助

明 細 書

1 発明の名称

振動式角速度計

2 特許請求の範囲

- (1) フォトリソグラフィとエッチング加工法により、同一基板上に振動による慣性変換部とコリオリ力検出部とを一体に形成したことを特徴とする振動式角速度計。
- (2) 特許請求の範囲(1)において、基板として単結晶材を用いたことを特徴とする振動式角速度計。
- (3) 特許請求の範囲(2)において、単結晶材として自身に圧電特性を有する部材を用いたことを特徴とする振動式角速度計。
- (4) 特許請求の範囲(1)において、基板として非結晶材を用いると共に少く共慣性変換部として上記基板上に圧電特性を有する薄膜部材を蒸着法又はスパッタリング法で形成せしめたことを特徴とする振動式角速度計。
- (5) 特許請求の範囲(1)において、コリオリ力の検出を、基板上に形成したコイルにより行うことを

特徴とする振動式角速度計。

- (6) 特許請求の範囲(1)において、コリオリ力の検出を、基板と対向配置せしめた固定電極との間で形成される静電容量の変化を利用することを特徴とする振動式角速度計。
- (7) 特許請求の範囲(3)において、コリオリ力の検出を基板自身の圧電特性による起電力を利用することを特徴とする振動式角速度計。
- (8) 特許請求の範囲(1)において、慣性変換部の固有振動数とコリオリ力の検出部の固有振動数を用一としたことを特徴とする振動式角速度計。

3 発明の詳細な説明

<産業上の利用分野>

本発明は航空機等の移動体の姿勢制御信号源として必須な角速度計に関する。特にコリオリ力を利用した振動式角速度計の新規な構成に關し、小形、高精度で信頼性の高い角速度計を提供する。

<従来例>

コリオリ力を用いた音叉形の振動式角速度計の一例を第1図により簡単に説明する。1は固定す

べき角速度  $\Omega$  が与えられる回転軸  $Z$  を有するベース部材、 $2_a, 2_b$  は軸  $Z$  を挟んで振動面が対向配置されるようにベース部材 1 に取り付けられた音叉素子で、慣性変換部を構成し、それ自身がビエソ圧電素子、又は外部よりの電磁手段等で失印  $\theta$  で示すように周期的に互いに逆位相で振動する。 $3_a, 3_b$  はこれら音叉素子の先端に形成された中継部材、 $4_a, 4_b$  はこれら中継部材に取付けられ、回転軸  $Z$  を挟みその振動面が音叉素子とは  $90^\circ$  異って延長形成されたコリオリ力検出部を構成する検出素子であり、自身がビエソ圧電素子又は適当な振動検出手段が基層又は被層されている。

このような構成において、音叉素子及び検出素子の一方の側に着目し、その音叉素子の振動の振幅を  $a$  すると、その位置  $x$  は、

$$x = a \sin \omega t \quad (1)$$

と表わされる。従ってその速度  $v$  は、

$$v = \dot{x} = a \omega \cos \omega t \quad (2)$$

となる。ベース部材 1 が軸  $Z$  のまわりに角速度  $\Omega$  で回転するとき、音叉素子とは  $90^\circ$  異って配置さ

れた検出素子にはコリオリ力が発生することが知られており、その力  $F$  は、検出素子の質量を  $m$  としたとき、

$$F = 2m v \cdot \Omega = 2 \cdot m \cdot a \cdot \omega \cos \omega t \quad (3)$$

となり、振動的に発生する(3)式で与えられるコリオリ力  $F$  を測定することで、角速度  $\Omega$  を求めることが可能である。

このような構成の角速度計の問題点は、

- (1) 複数の基層を基層、載立てる構成のため、小型化に限界がある。
- (2) 同様の要因で製作精度に限界があり、精度の良い角速度計の実現が困難である。
- (3) 同様の要因で長期的な安定性に欠ける。
- (4) 同様の要因で故障の確率が高く、信頼性に欠ける。

#### <本発明の構成>

本発明は従来技術の上記問題点を解消し、小型で製作精度が高く、安定性、信頼性に優れた振動式の角速度計の提供を目的とするものであり、その構成上の特徴は、フォトリソグラフィとエッチ

ング加工法により、同一基板上に振動による慣性変換部とコリオリ力検出部とを一体に形成したことにある。

近年無機回路製造技術の進歩に伴い、シリコン、水晶等の単結晶体等をフォトリソグラフィ(写真蝕刻)技術と結晶軸による露光感度差を利用した異方性エッチング技術とにより、高精度に微細加工することが容易となっている。

本発明はこのようなフォトリソグラフィとエッチング加工法を用いて、慣性変換部とコリオリ力検出部とを同一基板上に一体形成したものであり、エッチング加工の対象となる部材としては上記のシリコン(Si)、水晶(SiO<sub>2</sub>)に代表される単結晶材、特に水晶やメノウ、酸リン酸等、それ自身が圧電特性を有する部材が、本発明の角速度計を実現する上で有用である。これは、慣性変換部を振動させる手段として、単に電圧を印加すればよく、製作が容易となるためである。しかし、その他にも耐熱石英等の非結晶材又は金属上にPZT、酸化亜鉛、酸化カドミウム等の圧電素子を基層すること

とにより同様のものを實現可能である。

以下自身に圧電特性を有する単結晶材である水晶を例にとり、本発明角速度計の構成を断面図により説明する。第2図、第3図は結晶材5より、同じ基板4(厚さ数100ミクロンオーダー)を切出す際の軸の選び方の説明図である。基板4は、光学軸(Z軸)と直交する板に近い基板を用いる。具体的には、Z軸に垂直な板をX軸のまわりに角 $\alpha(-5^\circ \sim +5^\circ)$ 、Y'軸のまわりに角 $\beta(-10^\circ \sim 10^\circ)$ 回転して得られる板、いわゆる $+5^\circ - X$ 系の板を用いると良い。これは水晶板のフッ化水素酸に対するエッチング特性が、Z軸に対して速く、これに直交する軸に対しておそいため、Z軸に近い板がきわめて良好なエッチング加工性を実現するためである。

第4図は、このようにして切出された水晶基板4をエッチング加工する工程の説明図であり、(1)は加工対象基板4の側断面であり、まず両面にクロム(Cr)と金(Au)をスパッタし(2)の工程)、導電部として換したい個所をレジストを塗付した

後層光：換像する(4)の工程)。次にエッチングによりレジスト撤付箇所以外のクロム、金を除去し(4)の工程)、更に水晶の両方性を利用したエッチングにより、所定の箇所(a, b, c)の抜き彫り加工を行う(5)の工程)。この場合に抜き彫られる部分のギャップは、エッチングで残された調整するベタ層間の距離とエッチング時間、薬品等により高精度に管理可能である。

このようなエッチング加工技術により、基板を任意の形状に高精度加工し、又基板上に任意のパターンで電極、コイル等を高精度で形成することが可能である。尚コイル電極はエッチング後メッキでも形成できる。

#### 実施例>

第5図はこのような加工技術を用いて製作された本発明の振動式角速度計の一実施例を示し、次の4個の基本要素が同一基板上に一体形成されている。

- ① フレーム
- ② リガメント

一体に延長形成された板状のコリオリ力検出部であり、上記結合部と反対側は軸を含む第2のリガメント15を介してフレーム7に支持されている。16は交換部14の片面にメッキとエッチング加工法で形成されたループ状の検出コイルであり、その一端はリガメント15の裏側に形成されたリード17<sub>a</sub>と端子18<sub>a</sub>を介して、又、他端はリガメント15の裏側に形成されたリード17<sub>b</sub>と端子18<sub>b</sub>を介して失Aリード線19<sub>a</sub>, 19<sub>b</sub>で引出される。

Z軸に角速度が印加されると、音叉振動子8<sub>a</sub>, 8<sub>b</sub>の振動方向d, d'に対して直交方向に角速度Dに比例した振動のコリオリ力による振動が矢印e, e'に示す方向にコリオリ力検出部14に発生する。矢印Bは検出コイル16と平行に供給される磁界であり、フレーム7と一体に動く部材に取付けられた永久(電磁石)手段等で供給される。従って検出コイル16のe, e'方向の振動により、コイルのループはこの磁界を周期的に切ることになり、検出コイルはコリオリ力検出部14の振動の速度に比例した交変信号が誘起され、この信号よりコ

#### ③ 慣性交換部(振動部)

#### ④ コリオリ力検出部

7はフレームを示し、測定すべき角速度Dが与えられる回転軸Zのまわりで回転可能に支持されている。この軸Zは第2図、第3図で説明した水晶の掛軸軸Y'方向と一直線のように測定される。8<sub>a</sub>, 8<sub>b</sub>はフレーム内に形成された慣性交換部を形成する一対の音叉振動子であり、軸Zを含んでフレーム内に形成された第1リガメント9に支持されており、音叉振動子を駆動させるためのカプセル状の対向電極10<sub>a</sub>, 10<sub>b</sub>がその両面にメッキされた後、エッチング加工法で形成されている。電極10<sub>a</sub>, 10<sub>b</sub>はリガメント9表面に形成されたリード11<sub>a</sub>, 11<sub>b</sub>及びフレームに形成された端子12<sub>a</sub>, 12<sub>b</sub>を介してリード線13<sub>a</sub>, 13<sub>b</sub>により引出されて外部回路に接続される。外部回路が自動調整と、音叉振動子8<sub>a</sub>, 8<sub>b</sub>は、矢印d, d'に示すごとく、フレーム7の面と平行に固有振動数で互いに逆位相で振動する。

14は慣性交換部の音叉振動子8<sub>a</sub>, 8<sub>b</sub>の結合部に

コリオリ力即ち角速度Dを測定することができる。

コリオリ力の検出手段は、このようにコイルによる電磁誘導的な手段の他、検出部14の面上にフォトリソグラフィ等で板状の電極を形成し、これに近接して配置した固定電極との静電容量変化を用いる手段でも実現でき、基板として水晶を用いる場合Kはその圧電特性を利用し、リガメント15上に音叉振動子8<sub>a</sub>, 8<sub>b</sub>と同様な電極を用いてコリオリ力により発生する圧電気による起電力を測定することもできる。更に検出部14面上にミラーを形成し光学的に振動を検出することも可能であって、種々の変換検出手段を用いることができる。

第6図乃至第10図は本発明角速度計の別の実施例を示すものであって、失Aについて簡単に説明する。

第6図は慣性交換部とコリオリ力検出部とを、フレームの中空部を結んで回転軸Zを含むロッド20に一体化し、リガメントを設けずに要素を構造を特徴とし、ロッドの一面に第5図で説明した電

張 $10_a$ 、 $10_b$ が形成されて矢印4方向の振動が与えられる。ロッド20の裏面には直線状のコイル16が形成されていて、コリオリ力により発生するロッドの矢印。方向の振動を、第5図と同様な電磁誘導の原理で検出する。

第7図の例は、慣性交換部8とコリオリ力検出部14とを第3のリガメント21で区分して各部を機械的に隔離させたものである。慣性交換部の構成は第5図とやや異なり、軸と平行する方向に異方向を有する一対の振動部材 $8_a$ 、 $8_b$ 上に電張 $10_a$ 、 $10_b$ が形成され、その振動方向は矢印4で示すごとく、軸と直交方向である。コリオリ力検出部の構成、動作は第5図と同一である。

第8図は図3軸系を含む第1、第2リガメント9、15によってコリオリ力検出部14を形成する枠体を支保し、さらにこの枠体に対しと直交する軸21に更に一対のリガメント22、23を設けて板状の慣性交換部8を支持したものである。慣性交換部8は適当な手段で矢印4方向の振動が与えられ、コリオリ力検出部14に生ずる矢印4方向の振動は

14の枠体によって形成したコイル16によって第5図と同様な電磁誘導の原理で検出される。

第9図は第1のリガメントを軸21に平行な一対のリガメント $9_a$ 、 $9_b$ に分けて構成してコリオリ力検出部14の一方を同軸で支持する構成を示し、更にリガメント $9_a$ 、 $9_b$ 上に慣性交換部8を形成してリガメント $9_a$ 、 $9_b$ を矢印4方向に振動させる。矢印4方向に生ずるコリオリ力による振動は第5図と同様な電磁誘導の原理で検出される。このようにリガメントを分けることにより、コイル、電張等のリードの配置が容易となるメリットがある。

第10図は、慣性交換部8とコリオリ力検出部14とを共通の枠体24で形成してリガメント9、15でフレーム7に支持させた構成を示し、枠体の矢印4方向の振動に対し、矢印4方向に発生するコリオリ力による枠体の振動を第5図と同様な電磁誘導の原理で検出するようにしたものである。

このように、フレーム7に支持される慣性交換部8とコリオリ力検出部14の形状は種々の形状が可能であり、いずれの場合でもエッチング加工技

術により高精度の加工ができる。なお、図4～図10では検出手段としていずれも電磁誘導による方法について述べたが第5図で説明したよう、静電容量、圧電現象などを生ずる手法も用いることができる。

第11図は振動式角速度計の信号処理の概念を示すブロック図であり、発振部25より慣性交換部8が振動され、コリオリ力検出部14の交換信号 $e_p$ が増幅器26で増幅され、同期整流回路27で検出される。28は発振部25の出力を位相シフトして $e_r$ の位相に合わせて同期整流回路27へ基準位相信号を供給する。通常は同期整流回路27の直後出力 $E_D$ を角速度出力信号として利用するが、この信号を直後で示すよう、コリオリ力検出部14にフィードバックしてサーボ系を構成することも可能である。この場合は交換部29により、 $E_D$ で発振部25の出力を振幅変調して交換した後適当な位相補償回路30を介してコリオリ力検出部14に $E_D$ としてフィードバックし、機械的な振動の振幅を元に戻すよう、 $K$ に動作させる。即ちループゲインが高い場合

はこのサーボ系によって、コリオリ力の検出部14の機械的振動は極めてわずかとなり、バネ特性に非線形領域がある場合にはこの領域を使用しないで直線性の良い零点付近のみを利用することができ、交換特性を向上させることができる。この場合の出力信号は $E_D$ の他フィードバック交換信号 $e_D$ を利用することもできる。

尚零点変動の影響や、コリオリ力検出部を静電容量式で検出した場合の温度変動による影響等の補償は、同一特性の角速度計2個を差動的に用いることで有効に解決できる。本発明の角速度計は同一基準上にてエッチング加工法により複数個の同一形状のものを製造することは極めて容易であり、特性のそろった対を作るのに適している。

又コリオリ力検出の感度を向上させる有効な手段としては、慣性交換部8の固有振動数とコリオリ力検出部14の固有振動数を一致させることが望ましい。この固有振動数の一致によって、検出感度を $Q$ 倍に向上させることができる。

本発明の構成においては、測定軸を基準の振

低軸に一致させることで、慣性変換部8は第3図に示すようなカブス状の電極で低電力で容易に $\theta$ 方向に回転することができ、又基板の切出し角 $\theta$ を $\theta = \pm 1$ が程度に選定することにより温度に対する感度が極めて低い振動子を得ることができる。

#### <効果>

以上説明した本発明角速度計の効果をまとめると、

- (1) 小形で特性のそろった角速度計を容易に量産できる。
  - (2) フォトリソグラフィとエッチング加工技術により、高い加工精度が得られ、高精度の角速度計を実現できる。
  - (3) 組立部がなく、慣性変換部、パネ部、検出部を三位一体構造で作れるため、故障の確率が低く、信頼性が極めて高く、かつ長期的な安定性の優れた角速度計が得られる。
- となり、きびしい環境条件下で小型、高精度、高信頼度が要求される航空機等に用いられる角速度センサとして最適である。

#### 4. 図面の簡単な説明

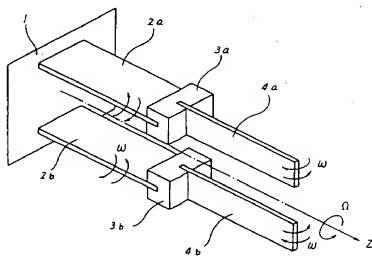
第1図は従来の振動式角速度計の一例を示す構成図、第2図、第3図は水晶より基板を切出す場合の各軸の説明図、第4図は水晶基板に対するエッチングの工程説明図、第5図は本発明角速度計の一実施例を示す構成図、第6図乃至第10図は本発明の他の実施例を示す構成図、第11図は振動式角速度計の信号処理の概念を示すブロック図である。

7…フレーム、8…慣性変換部、9、13、21、22…リガメント、10<sub>a</sub>、10<sub>b</sub>…電極、14…コリオリ力検出部、18…コイル、2…回転軸。

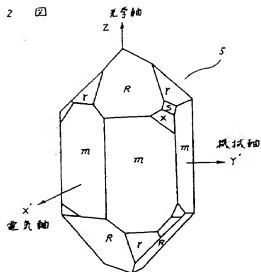
代理人 弁理士 小沢信助



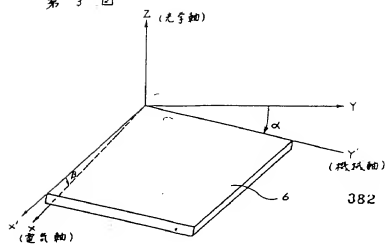
#### 第1図



第 2 図



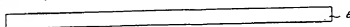
第 3 図



382

第 4 図

(1) 水晶基板



(2) フロム (Cr) と金 (Au) とスパッタ



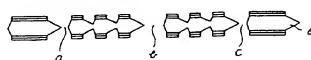
(3) レジスト塗布・露光・現像



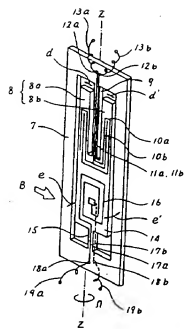
(4) 金とフロムとエッチング



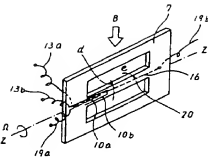
(5) 水晶の異方性エッチング



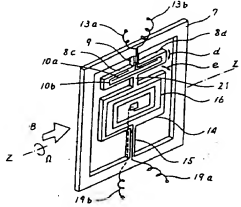
第 5 図



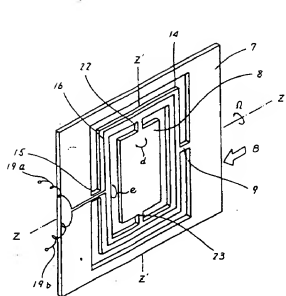
第 6 図



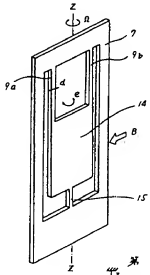
第 7 図



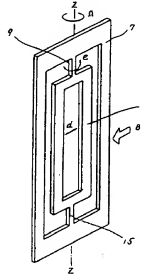
第 8 図



第 9 図



第 10 図



第 11 図

